

# GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZA DE LAS ROCAS ÍGNEAS ASOCIADAS A LA MINERALIZACIÓN DE NI-CU-EGP DE AGUABLANCA (BADAJOZ)

R. PIÑA <sup>(1)</sup>, R. LUNAR <sup>(1)</sup>, F. GERVILLA <sup>(2)</sup> Y L. ORTEGA <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. Cristalografía y Mineralogía, Fac. de Ciencias Geológicas, U. Complutense de Madrid, 28040 Madrid

<sup>(2)</sup> Inst. Andaluz de Ciencias de la Tierra, Fac. de Ciencias, U. de Granada, 18002, Granada

## INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Aguablanca (Zona de Ossa-Morena del macizo Ibérico) es una mineralización de sulfuros magmáticos formada durante la orogenia Hercínica (338.6 ± 0.8 M.a. Romeo et al., 2004). Esta mineralización es inusual por dos motivos: (a) aparece en forma de una brecha magmática subvertical, y (b) está relacionada con el desarrollo de un arco magmático de tipo andino. Esta situación geológica contrasta con la de la mayoría de las mineralizaciones de este tipo, en donde los sulfuros aparecen en niveles específicos de intrusiones máficas estratificadas asociadas a procesos de *rifting*.

La brecha mineralizada, situada en el borde Norte de la intrusión de Aguablanca, comprende fragmentos máficos-ultramáficos sin mineralizar englobados en una matriz de composición fundamentalmente gabronorítica con cantidades variables de sulfuros de Fe-Ni-Cu. Los fragmentos identificados incluyen peridotitas (dunita, harzburgita, wehrlita), piroxenitas (orto- y clinopiroxenitas), gabros (gabro s.s., gabronorita, norita, gabro anfibólico) y anortositas. Los fragmentos representan acumulados ígneos, formados en diferentes estadios de la evolución de un complejo máfico-ultramáfico oculto mediante procesos de diferenciación magmática (Tornos et al., 2001; Piña et al., 2004 y 2006a). En el exterior de la brecha, las rocas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca son principalmente gabronoritas y, en menor medida, cuarzo-dioritas, dioritas, gabros, noritas y piroxenitas.

En este tipo de yacimientos, la génesis de la mineralización está estrechamente ligada a la génesis y evolución de las rocas ígneas encajantes, por lo que es necesario estudiar detalladamente éstas últimas, con el fin de elaborar un modelo metalogénico válido. En este trabajo, se presentan los datos correspondientes a la geoquímica de elementos mayores, menores y traza de: (a) los fragmentos, (b) la matriz gabronorítica mineralizada, y (c) las rocas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca. Estos datos, junto con los existentes sobre la petrografía y química mineral (Piña et al., 2004 y 2006a; Piña, 2006), permiten contrastar las relaciones genéticas entre los distintos grupos de rocas y el contexto geodinámico en el cual se desarrolló la mineralización.

## CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS

Los análisis de las muestras (13 procedentes de los fragmentos, 5 de la matriz gabronorítica mineralizada y 5 de

las rocas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca incluyendo gabronoritas, cuarzo-dioritas y dioritas) se obtuvieron con un espectrómetro de masas (ICP-MS) en el laboratorio comercial Activation Laboratories Ltd. (ACTLABS) situado en Ancaster (Ontario, Canadá).

### Fragmentos máficos-ultramáficos

Muestran un amplio rango composicional en los elementos mayores de acuerdo con sus extensas variaciones modales de olivino, piroxeno, plagioclasa y anfíbol observadas. El contenido en SiO<sub>2</sub> oscila entre 37.86 y 49.82 % en peso, el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 0.72 y 31.83 % en peso, el MgO entre 2.50 y 39.89 % en peso, el Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 2.53 y 15.21 % en peso y el CaO entre 1.51 y 22.80 % en peso. El contenido en MnO es siempre inferior a 0.36 % en peso y el TiO<sub>2</sub> aparece en concentraciones bajas, generalmente inferiores a 1.3 % en peso. El contenido en álcalis varía entre 0.27 y 0.80 % en peso en los fragmentos peridotíticos y entre 4.02 y 7.22 % en peso en los fragmentos de anortosita. Las composiciones más primitivas corresponden a los fragmentos peridotíticos, con valores de Mg# [Mg/(Mg+Fe)] de 0.72, 0.69 y 0.75 para la dunita, wehrlita y harzburgita, respectivamente. Hay un aumento general de las concentraciones de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> y álcalis a medida que disminuye el contenido de MgO.

Con la excepción de los fragmentos de harzburgita y gabronorita, todas las muestras están enriquecidas en los elementos litófilos de alto radio iónico (LILE: Rb, Ba, Th, U) respecto a los elementos de alto potencial iónico (HFSE: Nb, Ta) y presentan fuertes anomalías positivas de Pb (Fig. 1). La anomalía positiva de Ti en una gabronorita está relacionada con la presencia de ilmenita, mientras que las anomalías positivas de Sr de la anortositas y gabronoritas son debidas al fraccionamiento de plagioclasa. La wehrlita y harzburgita tienen marcadas anomalías positivas de Zr y Hf, consistente con sus mayores contenidos en Zr (178 ppm para la wehrlita y 320 ppm para la harzburgita) en comparación con el resto de fragmentos (generalmente < 89 ppm). Este aspecto es muy poco común, ya que el Zr suele concentrarse en las rocas más diferenciadas a causa de su comportamiento incompatible durante el fraccionamiento del olivino y piroxeno. Este aspecto, que no se observa en otros elementos incompatibles como Sr, Rb o Ba, podría reflejar la presencia de circones heredados tras la asimilación de material cortical. Los circones, a causa de su elevada densidad, se habrían comportado igual que los olivinos concentrándose junto a ellos.

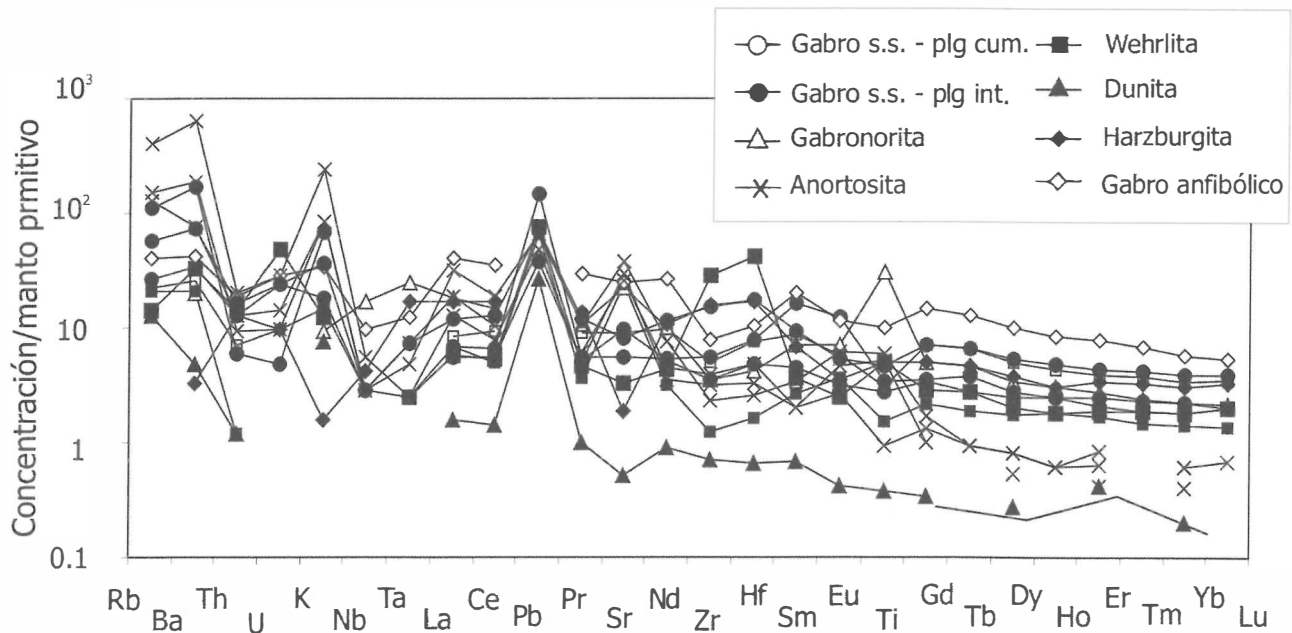


Figura 1: Diagrama multielemental del contenido de elementos traza normalizado a los valores del manto primitivo de Sun & McDonough (1989) para los fragmentos.

Los fragmentos tienen contenidos variables de REE (6-171 ppm) que reflejan diferentes cantidades de material intercumulus y anfíbol. Todos están enriquecidos en tierras raras ligeras (LREE: La, Ce, Pr y Nd) respecto a las tierras raras pesadas (HREE: Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu) (Fig. 1) con relaciones  $(La/Lu)_N$  oscilando entre 2.7 y 7.7 (las anortositas tienen relaciones mayores, entre 18.6 y 57.9). Las gabronoritas y anortositas presentan anomalías positivas de Eu indicativas de la acumulación de plagioclasa como fase cumulus.

**Matriz gabronorítica mineralizada y rocas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca**

Las gabronoritas de la matriz mineralizada y las gabronoritas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca presentan un rango composicional de ele-

mentos mayores similar. Con respecto a estas gabronoritas, las dioritas y cuarzo-dioritas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca tienen composiciones más evolucionadas, con mayores contenidos en  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ , Ba, Sr, Rb, Zr y REE, y menores de  $MgO$ ,  $MnO$ , Ni, Cr y Co.

Las concentraciones de elementos traza incompatibles normalizadas al manto primitivo están dentro del rango observado para los fragmentos (Fig. 2), pero los patrones de distribución son mucho más homogéneos que el exhibido por éstos de acuerdo con sus menores variaciones modales. Todas las muestras están enriquecidas en LILE y LREE con respecto a los HFSE y HREE, muestran pronunciadas anomalías negativas de Nb y Ta, y moderadas anomalías positivas de Sr asociadas a la presencia de plagioclasa (Fig. 2). Las relaciones  $(La/Lu)_N$  oscilan entre 3.78 y 9.3. Aunque la plagioclasa es aparentemente

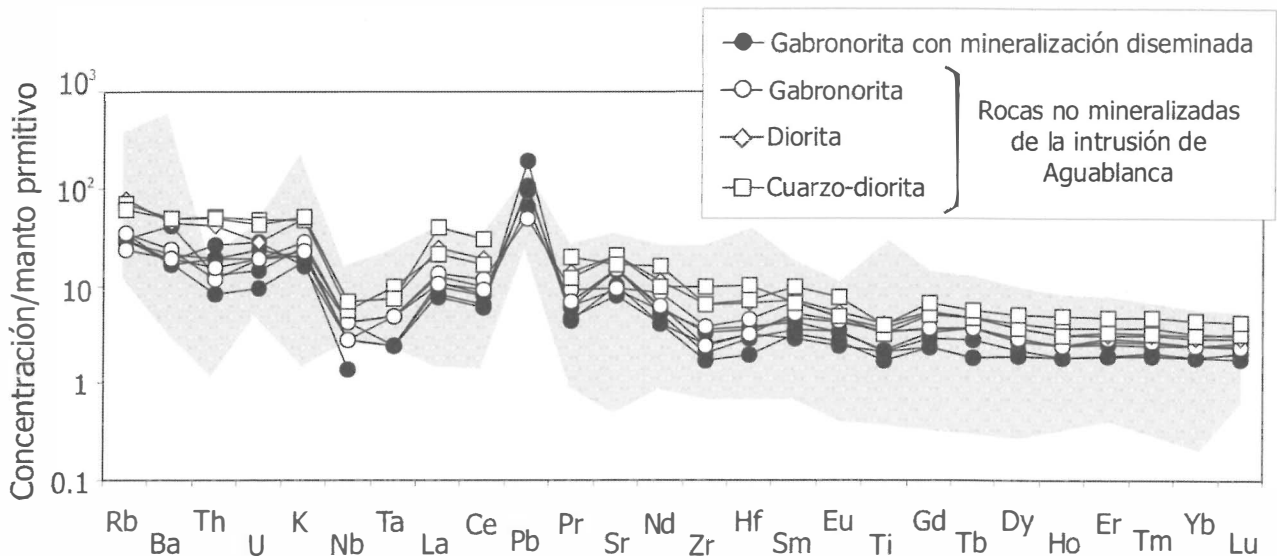


Figura 2: Diagrama multielemental de elementos traza compatibles, normalizado a los valores del manto primitivo de Sun & McDonough (1989) para gabronoritas con mineralización diseminada de la matriz y rocas sin mineralización de la intrusión de Aguablanca. El campo sombreado representa el rango de los fragmentos máficos-ultramáficos de la brecha.

una fase cumulus en muchas de las gabronoritas, y en las dioritas y cuarzo-dioritas, los patrones de distribución carecen de anomalía positiva de Eu (Fig. 2). Esto podría ser indicativo de que estas rocas presentan composiciones muy cercanas al líquido del cual se formaron. Además, ya que el coeficiente de reparto del Eu entre la plagioclasa y el fundido es inferior a 1 (~ 0.1, Bindeman et al., 1998), la presencia en estas rocas de cantidades relativamente altas de minerales intercumulus (anfíbol, flogopita y cuarzo) pudo prevenir el desarrollo de las anomalías positivas de Eu (Cesare et al., 2002).

## CONSIDERACIONES FINALES

Las gabronoritas mineralizadas de la matriz y la mayoría de los fragmentos muestran un enriquecimiento sistemático en LILE y LREE respecto a HFSE y HREE, además de pronunciadas anomalías positivas de Pb, y negativas de Nb y Ta. Además, los rangos composicionales de los silicatos primarios de los fragmentos se solapan con los de la matriz mineralizada (Piña, 2006; Piña et al., 2006a). Estos datos sugieren que, muy probablemente, los fundidos de los acumulados del complejo diferenciado (fuente de los fragmentos) fueron co-genéticos con los de la matriz mineralizada y se formaron a partir de un mismo magma parental.

En lo referente a la relación entre las rocas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca y las gabronoritas mineralizadas de la matriz de la brecha, varias evidencias sugieren que estas rocas podrían haberse formado a partir de un mismo magma parental y que podrían pertenecer a una misma serie magmática que evolucionó mediante procesos de diferenciación magmática: (a) la similitud entre los patrones de distribución de los elementos traza incompatibles, (b) la similitud entre los rangos composicionales de los silicatos primarios de ambos grupos de gabronoritas (Piña, 2006; Piña et al., 2006a), y (c) la tendencia de diferenciación existente según el orden gabronorita → diorita → cuarzo-diorita, reflejada por un aumento progresivo en el contenido de elementos incompatibles (Ba, Sr, Zr, REE, etc...) y una disminución de los compatibles (Cr, Ni).

La geoquímica de los fragmentos, de las gabronoritas mineralizadas y de las rocas no mineralizadas de la intrusión de Aguablanca es indicativa de que estas rocas se formaron a partir de magmas generados en zonas de subducción que han sufrido algún grado de contaminación cortical (Perfit et al., 1980; Zhou et al., 2004). Esta interpretación es consistente con: (a) la asimilación cortical de rocas sedimentarias ricas en S, responsable de las causas de la saturación en S del magma silicatado, tal y como sugirieron Casquet et al. (1998) a partir de los isótopos de S y Piña et al. (2006b) a partir del estudio de las relaciones S/Se, (b) el elevado contenido en Zr de algunos fragmentos peridotíticos, probablemente reflejo de la presencia de circones heredados por asimilación

cortical, y (c) el contexto geodinámico regional en el cual se desarrolló la mineralización, un arco magmático de tipo andino. No obstante, el descubrimiento de un cuerpo profundo (15-20 km de profundidad) en forma de *sill*, interpretado como una intrusión máfica-ultramáfica estratificada emplazada en una etapa extensiva intermedia a dos etapas compresivas durante la orogenia Hercínica tras el ascenso de una pluma mantélica (entre 355 y 335 M.a.) (Simancas et al., 2003), plantea la posibilidad de que la mineralización de Aguablanca este asociada a un episodio extensivo dentro de la orogenia Hercínica como es característico en este tipo de mineralizaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Río Narcea Recursos S.A. las facilidades dadas para el muestreo y los trabajos realizados en la mina. Este estudio ha sido financiado con el Proyecto BTE2003-03599 del Ministerio de Educación y Ciencia.

## REFERENCIAS

- Bindeman, I.N., Davis, A.M. y Drake, M. (1998). *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 62-7, 1175-1193
- Casquet, C., Eguiluz, L., Galindo, C., Tornos, F. y Velasco, F. (1998). *Geogaceta*, 24, 71-72
- Cesare, B., Rubatto, D., Hermann, J. y Barzi, L. (2002). *Contr. Mineral. Petrol.*, 142, 449-464
- Perfit M.R., Gust, D.A., Bence, A.E., Arculus, R.J. y Taylor, S.R. (1980). *Chem. Geol.*, 30, 227-256
- Piña, R., Lunar, R., Ortega, L., Gervilla, F., Alapieti, T. y Martínez, C. (2004). *MACLA*, 2, 19-20
- Piña, R. (2006). Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 372 pp.
- Piña, R., Lunar, R., Ortega, L., Gervilla, F., Alapieti, T. y Martínez, C. (2006a). Aceptado en *Econ. Geol.*
- Piña, R., Gervilla, F., Ortega, L. y Lunar, R. (2006b). *Enviado a Min. and Petrol.*
- Romeo, I., Lunar, R., Capote, R., Quesada, C., Dunning, G.R., Piña, R. y Ortega, L. (2004). *MACLA*, 2, 29-30
- Simancas, J.F., Carbonell, R., González Lodeiro, F., Pérez Estaún, A., Juhlin, C., Ayarza, P., Kashubin, A., Azor, A., Martínez Poyatos, D., Almodóvar, G.R., Pascual, E., Sáez, R. y Expósito, I. (2003). *Tectonics*, 22-6, p. 1062-1081
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. (1989): Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes, In: «Magmatism in the ocean basins», A.D. Saunders and M.J. Norry, eds. Geological Society London Special Publication, 42, 313-345
- Tornos, F., Casquet, C., Galindo, C., Velasco, F. y Canales, A. (2001). *Mineral. Deposita*, 36, 700-706
- Zhou, M.F., Leshner, C.M., Yang, Z., Li, J. y Sun, M. (2004). *Chem. Geol.*, 209, 233-257